

публиканский межведомственный сборник. Физика и техника высоких давлений.— Киев: Наукова думка. — 1981. — Вып. 5. — С. 54–57.

3. Калачев, М. И. О механизме воздействия дефектов кристаллической решетки при пластической деформации металлов / М. И. Калачев // Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук. — 1976. — № 4. — С. 19–22.

УДК 631.7/9.016

Л.А. ИСАЕВИЧ, д-р техн. наук,
В.А. КОРОЛЬ, д-р техн. наук,
Д.М. ИВАНИЦКИЙ, канд. техн. наук (БНТУ)

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ РЕЖУЩИХ ГРАНЕЙ НОЖЕЙ РОТАЦИОННЫХ КОСИЛОК

Режущие ножи являются основным элементом зерно- и кормоуборочной техники, обеспечивающим качественные зерно- и кормозаготовительные работы. Поскольку они являются самыми быстроизнашиваемыми деталями, влияющими на надежность работы зерно- и кормоуборочной техники, обеспечение косилок режущими аппаратами высокого качества является одной из актуальных народнохозяйственных проблем.

В последнее время на смену косилок с режущим аппаратом подпорного резания, основным элементом которого являются сегментные ножи, совершающие возвратно-поступательное движение, приходят ротационные косилки, основанные на принципе бесподпорного резания, в которых режущие элементы не осуществляют возвратно-поступательного движения. Ножи таких аппаратов совершают вращательное движение вместе с диском или барабаном. Это дает возможность значительно повысить рабочие скорости косилок и жаток, что обеспечивает повышение производительности труда при сельскохозяйственных работах по уборке зерна и заготовке кормов в республике, что особенно важно при непредсказуемых погодных условиях.

В начале 2005 года Республиканским конструкторским унитарным предприятием «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» ПО «Гомсельмаш» разработана новая гамма ротационных косилок, одним из представителей которых является косилка-плющилка ротационная КПР9. Основным режущим элементом косилки-плющилки являются ножи, представляющие собой пластины прямоугольного сечения из стали 60С2 толщиной 4 мм и размером 45×106 и 42×116 мм (рис.1) с режущими лезвиями на боковых сторонах.



Рисунок 1 – Внешний вид режущих ножей ротационных косилок

На основании результатов проведенных теоретических исследований была разработана конструкция режущего ножа. При угле наклона режущих лезвий к направлению движения сегмента $\varphi = 20-45^\circ$ выполняется условие врезания, а также происходит наибольшее заострение кромки. При угле наклона больше или меньше указанного диапазона условие врезания нарушается, и стебель значительно деформируется, скользя по лезвиям, что вызывает их повышенный износ. Оптимальными параметрами при диаметре стебля 4 мм следует считать угол наклона лезвий зубьев $\varphi = 20-45^\circ$ [1]. В режущих ножах ротационных косилок угле наклона режущих лезвий к направлению движения сегмента $\varphi = 28^\circ$ (рис. 2).

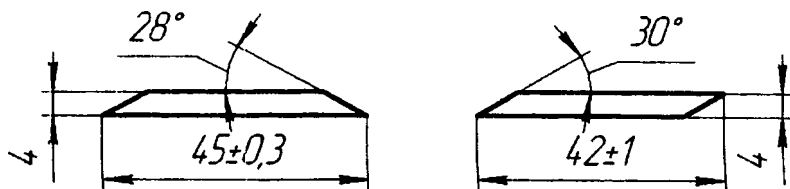


Рисунок 2 – Профиль ножей ротационных косилок

При теоретическом анализе процесс формообразования наклонных боковых граней в листовом материале будем рассматривать как процесс заполнения конической впадины деформирующего инструмента деформируемым металлом. Приближенная схема решения основана на усреднении напряжений в сечениях деформируемого листа и принятии упрощенного уравнения пластичности, что соответствует реальному процессу для случаев незначительных значений коэффициента контактного трения на границе металла со стенками впадины и относительно небольших углах наклона граней впадины [2].

Рассмотрим схему заполнения впадины по ее длине. Для этого процесс представим как осадку полосы наклонным бойком (рис.3). Поскольку в зоне наибольшего обжатия листовой заготовки перемещение металла затруднено, то вытяжка осуществляется за счет смещения объема заготовки по направлению оси x .

При штамповке кромка заготовки поворачивается относительно нижней плиты, занимая положение, при котором очаг деформации становится симметричным (рис.3). В силу этого оси координат будут повернуты относительно первоначального положения на угол $\varphi/2$ (φ – угол наклона верхнего деформирующего инструмента к горизонтальной плоскости).

Выделим в очаге деформации бесконечно малый элемент единичной ширины длиной dx , удаленный от начала координат на расстояние x . Составим уравнение равновесия этого элемента

$$\begin{aligned}
 & -(\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_x) + \sigma_x h_x + 2p_y \frac{dx}{\cos(\varphi/2)} \times \\
 & \times \sin(\varphi/2) - 2fp_y \frac{dx}{\cos(\varphi/2)} \cos(\varphi/2) = 0.
 \end{aligned}$$

Подставляя в данное уравнение значение $dx = \frac{dh_x}{2\text{tg}(\varphi/2)}$, полу-

чим

$$\begin{aligned}
 & -\sigma_x h_x - \sigma_x dh_x - d\sigma_x h_x + d\sigma_x dh_x + \sigma_x h_x + \\
 & + 2p_y \frac{dh_x}{2\operatorname{tg}(\varphi/2)\cos(\varphi/2)} \sin(\varphi/2) - 2fp_y \frac{dh_x}{2\operatorname{tg}(\varphi/2)\cos(\varphi/2)} \times \\
 & \times \cos(\varphi/2) = 0.
 \end{aligned}$$

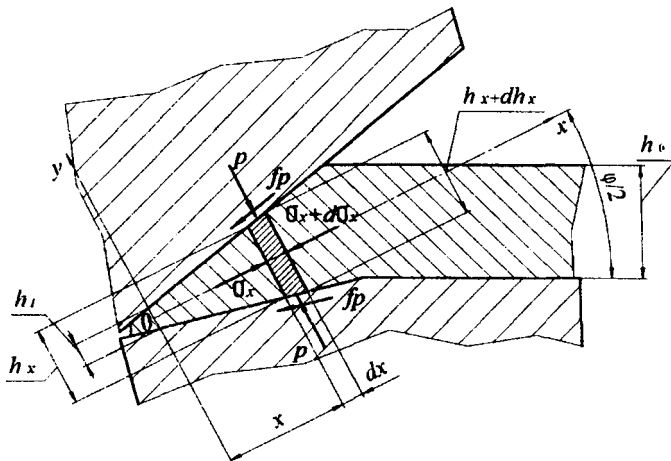


Рисунок 3 – Схема формообразования при штамповке заготовки

Далее, пренебрегая бесконечно малыми величинами второго порядка, получим

$$\sigma_x \frac{dh_x}{h_x} + d\sigma_x - p_y \frac{dh_x}{h_x} + \frac{fp_y}{\operatorname{tg}(\varphi/2)} \frac{dh_x}{h_x} = 0.$$

Окончательно запишем

$$d\sigma_x - (p_y - \sigma_x) \frac{dh_x}{h_x} + \frac{fp_y}{\operatorname{tg}(\varphi/2)} \frac{dh_x}{h_x} = 0. \quad (1)$$

Будем считать деформацию в зоне затекания металла в зазор двумерной, поскольку вытяжка вдоль листа практически отсутствует. Далее принимаем, что главные оси напряжений в рассматриваемом элементе соответствуют вертикальным и горизонтальным осям. Тогда можно записать условие пластичности

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_T, \quad (2)$$

где $\sigma_1 = \frac{\left(q \frac{dy}{\cos \alpha} \cos \alpha - fq \frac{dy}{\cos \alpha} \sin \alpha \right)}{dy}$; β – параметр Лодэ; σ_T – предел текучести стали.

В этом случае $\sigma_1 = p_y$, а $\sigma_3 = \sigma_x$. Тогда

$$p_y - \sigma_x = \beta \sigma_T. \quad (3)$$

Решая его совместно с уравнением (1), получим

$$dp_y - \beta \sigma_T \frac{dh_x}{h_x} + \frac{fp_y}{\operatorname{tg}(\varphi/2)} \frac{dh_x}{h_x} = 0. \quad (4)$$

Введем обозначение $\delta = \frac{f}{\operatorname{tg}(\varphi/2)}$ и произведем преобразования

$$dp_y - \beta \sigma_T \frac{dh_x}{h_x} + \delta p_y \frac{dh_x}{h_x} = 0; \quad dp_y = (\beta \sigma_T - \delta p) \frac{dh_x}{h_x}.$$

Затем разделим переменные $\frac{dp_y}{\beta \sigma_T - \delta p} = \frac{dh_x}{h_x}$ и далее проинтегрируем полученное выражение

$$-\frac{1}{\delta} \ln(\delta p_y - \beta \sigma_T) = \ln h_x + C; \quad \ln(\delta p_y - \beta \sigma_T) - \ln h_x^{-\delta} = C;$$

$$C = \frac{(\delta p_y - \beta \sigma_T)}{h_x^{-\delta}}.$$

После этого преобразуем его к виду

$$\delta p_y - \beta \sigma_T = C h_x^{-\delta}.$$

Постоянную интегрирования C найдем из граничных условий, в соответствии с которыми при $h_x = h_0$ (толщина заготовки) параметр $p_y = \beta \sigma_T$. Тогда запишем

$$\delta \beta \sigma_T - \beta \sigma_T = C h_0^{-\delta}; \quad C = \beta \sigma_T (\delta - 1) h_0^{\delta}.$$

Подставив значение постоянной интегрирования в предыдущее выражение, запишем

$$\delta p_y - \beta \sigma_T = \beta \sigma_T (\delta - 1) h_0^{\delta} h_x^{-\delta}; \quad p_y = \frac{\beta \sigma_T}{\delta} \left[1 + (\delta - 1) h_0^{\delta} h_x^{-\delta} \right].$$

Окончательно получим

$$p_y = \frac{\beta \sigma_T}{\delta} \left[(\delta - 1) \left(\frac{h_0}{h_x} \right)^{\delta} + 1 \right]. \quad (5)$$

Анализ данного уравнения показывает, что с уменьшением величины h_x напряжение p_y возрастает.

Для определения усилия деформирования, приходящегося на единицу длины очага деформации в произвольном сечении очага деформации, выражение (5) необходимо проинтегрировать в пределах изменения самой функции

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ед}} &= \int_{h_0}^{h_1} \beta \sigma_{\tau} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) \left[\left(\frac{h_x}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \right\} dh = \\
 &= \beta \sigma_{\tau} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) (\delta + 1) \left[\frac{h_0^{\delta+1}}{h_1^{\delta}} - h_1 \right] - h_0 + h_1 \right\}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где h_1 – толщина кромки заготовки в зоне максимального обжатия (рис.3).

Для определения полного усилия деформирования умножим выражение (6) на длину очага деформации l

$$\begin{aligned}
 P_{\text{п}} &= \int_{h_0}^{h_1} \beta \sigma_{\tau} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) \left[\left(\frac{h_x}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \right\} dhl = \\
 &= \beta \sigma_{\tau} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) (\delta + 1) \left[\frac{h_0^{\delta+1}}{h_1^{\delta}} - h_1 \right] - h_0 + h_1 \right\} l \quad (7)
 \end{aligned}$$

В расчетах необходимо учитывать упрочнение металла, которое характеризуется напряжением текучести σ_s для любого момента деформации до начала образования шейки. Напряжение текучести определим по формуле С.И. Губкина [3]

$$\sigma_{S_1} = \sigma_{\tau} + \left(\frac{\sigma_{\text{в}}}{1 - \psi_{\text{ш}}} - \sigma_{\tau} \right) \left(\frac{\psi}{\psi_{\text{ш}}} \right)^{\frac{\sigma_{\text{в}} \cdot \psi_{\text{ш}}}{(1 - \psi_{\text{ш}})(\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\tau}(1 - \psi_{\text{ш}})}}}, \quad (8)$$

где σ_{τ} – предел текучести для стали 60С2 равен 510 МПа [4]; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности исходного материала, для стали 60С2 равный

785 МПа [4]; $\psi_{ш}$ – относительное изменение площади поперечного сечения образца в момент образования шейки, для стали 60С2 принимаем равным значению 25%; ψ – относительное уменьшение площади поперечного сечения.

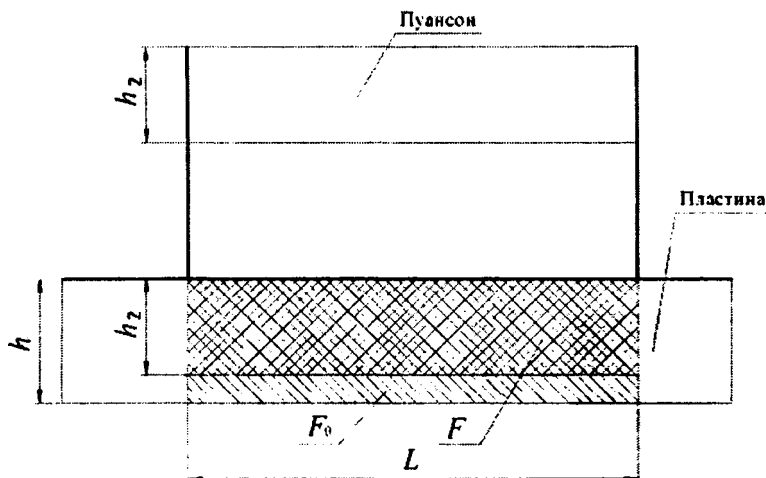


Рисунок 4 – Схема для определения относительного уменьшения площади сечения

Относительное уменьшение площади поперечного сечения определим по формуле

$$\psi = 1 - \frac{F_0 - F}{F_0}, \quad (9)$$

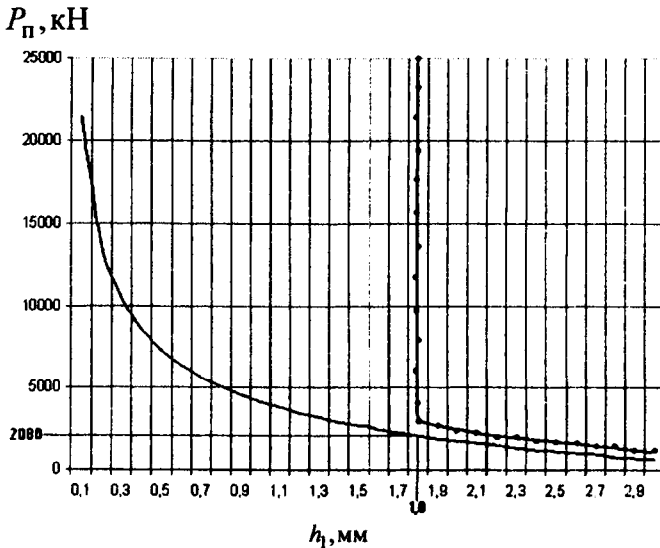
где F_0 – площадь сечения для расчетов; F – площадь сечения, заполненная металлом после деформирования.

При внедрении пуансона в заготовку объем металла с площадью сечения F_0 (рис.4) перемещается и заполняет коническую впадину, площадь сечения которой F .

В теоретических расчетах целесообразно использовать осредненное значение напряжения текучести, которое определяется по формуле [3]

$$\sigma_S^* = \frac{\sigma_S + \sigma_{S1}}{2}, \quad (10)$$

где σ_S – напряжение текучести стали в исходном состоянии, равное 510 МПа [4].



(1 – теоретическое значение; 2 – экспериментальное значение)

Рисунок 5 – График зависимости полного усилия $P_{\text{полн}}$ от толщины кромки h_1

На основе полученной формулы (8) были проведены теоретические расчеты, а на основе экспериментальных исследований процесса пластического формообразования граней получены опытные данные. По результатам исследований построены зависимости полного усилия штамповки от толщины кромки (рис.5) при следующих значениях параметров: исходная толщина прямоугольной пластины $h_0 = 4$ мм; угол наклона деформирующей части инструмента к горизонтальной плоскости $\varphi = 28^\circ$; длина режущей грани ножа $l = 106$ мм; коэффициент контактного трения «сталь по стали»

$f = 0,15$ [3]; параметр Лоде $\beta = 1,15$ [3]. Экспериментальные исследования по формообразованию режущих зубьев сегментных ножей холодным пластическим деформированием проводили на заготовках толщиной 4 мм по схеме штамповки, представленной на рисунке 6. Исследования осуществляли на лабораторном гидравлическом прессе П-200 усилием 2000 кН.

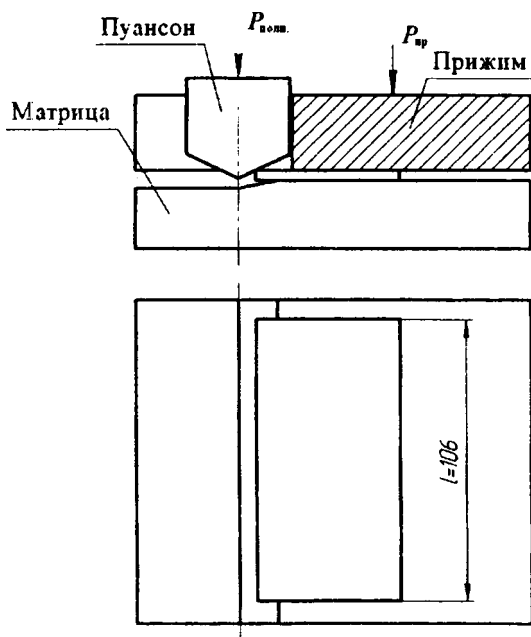


Рисунок 6 – Схема экспериментального штампа

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы. Теоретические значения толщины перемычки несколько меньше экспериментальных. Это вполне согласуется с физическими представлениями о механизме деформирования, поскольку в расчетах был использован метод нижней оценки (метод плоских сечений).

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать новую промышленную технологию изготовления режущих ножей ротационных косилок на предприятии СЗСМ «Светлогорскормаш», которая включает в себя:

- 1) отрезку полосы из листа;
- 2) пробивку отверстия;
- 3) правку заготовок при необходимости;
- 4) фрезерование уклона на гранях за два прохода;
- 5) термообработка (закалка, отпуск);
- 6) технический контроль.

По новой технологии исключаются операции фрезерования уклона и вводятся операции штамповки и шлифования (заточки). Это позволяет: во-первых, полностью ликвидировать механическую обработку (фрезерование режущих граней ножей) и затраты на возмещение износа фрез; во-вторых, наличие заусенца исключает при термообработке интенсивное окисление и обезуглероживание режущих лезвий, что увеличивает их износостойкость и долговечность.

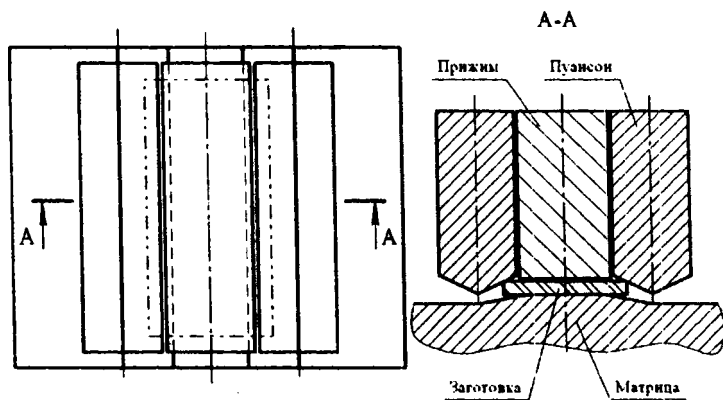


Рисунок 7 – Схема штамповки режущих граней ножей

В сконструированном штампе процесс деформирования осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 7. Эта схема позволяет за один ход ползуна прессы получать готовый полуфабрикат ножа с двухсторонним наклонным режущим лезвием. Штамп также оснащен прижимом для предотвращения изгиба заготовки. В процессе штамповки заготовка ножа, предварительно уложенная на матрице с двумя уклонами, далее точно самоустанавливается пуансонами. Это обеспечивается наклонными гранями самих пуансонов.

Ножи, полученные по новой технологии и с фрезерованными двухсторонними боковыми уклонами, были подвергнуты сравнительным полевым испытаниям. Натурные испытания проводили на испытательной станции РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике». Два типа сегментов были установлены на режущий аппарат косилки-плющилки ротационной КПП9. Испытания проводились по следующей методике [1]:

1. Проверка всех сегментов на твердость. Твердость должна составлять 40 – 62 HRC.

2. Изучение характера и величины износа лезвия путем сравнения его профиля до и после испытаний. Износостойкость оценивалась по следующему показателю относительного притупления лезвия ножа:

$$c = \frac{\delta_{\text{ср.изн}} - \delta_{\text{ср.нов}}}{\delta_{\text{ср.нов}}}, \quad (11)$$

где $\delta_{\text{ср.изн}}$ – средняя острота лезвия после испытаний; $\delta_{\text{ср.нов}}$ – то же до испытаний.

3. Контроль качества среза. На площадке $0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ м}^2$ подсчитывалось количество стеблей прямо-, кососрезанных и с рваным срезом. Качество среза оценивается чистотой среза, то есть отношением количества прямо-, кососрезанных стеблей к общему количеству стеблей.

Результаты полевых сравнительных испытаний ножей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний ножей

| Наименование параметров | Значения параметров (среднее) | | |
|---|-------------------------------|----------|---------|
| | По КД | Серийные | Опытные |
| 1. Твердость, HRC | 40 – 62 | 50 – 57 | 50 – 57 |
| 2. Относительное притупление лезвий зубьев насечки, с | – | 0,02 | 0,01 |
| 3. Качество среза | – | 0,922 | 0,973 |

Вывод

Формообразование режущих лезвий ножей ротационных косилок пластическим деформированием повышает их стойкость в 1,5-2 раза за счет наличия заусенца, который исключает при термообработке интенсивное окисление и обезуглероживание режущих лезвий. Это обеспечивает также возможность выполнения 3-, 4-кратной переточки ножей, что исключено при их фрезеровании. Данные преимущества обеспечивают экономию дорогостоящей стали 60С2.

Литература

1. **Сельскохозяйственные машины** / И. С. Иванов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1970. – 640 с.
2. **Колесниченко, Б. П.** Отпечатываемость шероховатости валков на полосе при холодной прокатке и дрессировке / Б. П. Колесниченко, В. Л. Мазур, А. П. Качайлов // Листопрокатное производство. – 1972. – № 1. – С. 76 – 80.
3. **Целиков, А. Я.** Теория продольной прокатки / А. Я. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
4. **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В. И. Анурьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – Т. 1. – 728 с.

УДК 621.777.35.621

М.В. ЛОГАЧЕВ, канд. техн. наук,
В.С. КАРПИЦКИЙ, канд. техн. наук (БНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА ИЗ ЛЕНТЫ

Проведенный анализ известных способов изготовления тонкостенных труб малого диаметра из различных металлов и сплавов позволил установить, что существующие техпроцессы изготовления